

# シャフト炉内の燃焼帯に関する理論的考察

宇 津 一 郎

Fuudamental Consideration by Theoretical Principle on the Combustion  
Zone of Shaft Furnace.

Ichiro UTSU

## Abstract :

It is evident that the volume, shape and temperature of combustion zone in shaft furnace are changed by the character of fuel and air which burned at the combustion zone.

The fuel consumption, large production and normal working are affected by the character of combustion zone. Therefore, up to date, many students and furnace men have been studying on it, but many of them did not explain it theoretically and were lacking in theories. So that the author suggests a theoretical principle, that is "The idea of heat compression" The author introduced a principle that the temperature of combustion zone is higher, the volume of it is smaller.

By applying this principle I have explained the following facts :

- (i) When the temperature and volume of air is constant, the higher temperature of combustion zone gives the smaller volume of combustion zone.
- (ii) Good combustibility of coke gives the combustion zone with higher temperature and contraction of volume.
- (iii) When air amount is constant, the temperature of air is higher the volume of combustion zone is smaller.
- (iv) Larger air amount does not give always the larger combustion zone.

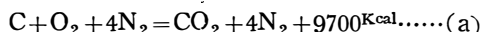
## 1 緒 言

骸炭の燃焼性及び風量、風熱は堅型炉内の燃焼帯の形状、大きさ、温度等に大きな影響を与える。

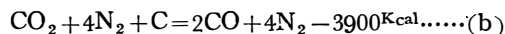
従つてこの燃焼帯が堅型炉の燃料消費量、生産量や順調なる操業を左右する大きな原因の一つであることは当然である。斯るが故、今日迄多くの研究者や炉の操業者によつて、之等に関する実験、試験や経験的事実等が多く発表され、報告されて来た。又その研究結果として、骸炭の品質の改良、適正化、高炉に於ては送風温度の高温化、熔銑炉に於ける熱風操業、送風中への水蒸気量の調整、酸素添加の送風、送風量の増大、炉の大型化等と研究され、又実用化されて発展して来たが、これらの多くはいずれも経験的に、又実験的に推論されたもの多く、且つ又、断片的でこれらを一貫した理論で総合的に解明されているものが甚だ少ない様に見受けられる。勿論、之等のことを明確に一つの理論式にて解明することは複雑で、その総てを表わすことは出来ないが、一つの段階として骸炭の燃焼性、及び風量風熱が燃焼帯に与える影響を以下の如く推論して見た。

## 2 燃烧帯の定義

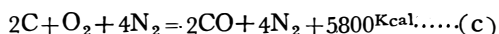
考察を簡単にするため、燃烧は定常状態にあるものとし、空気は $H_2O$ を含まず、白熱骸炭に触れた空気の燃烧反応は



となるが、堅型炉では上層又は附近のCにより



となり、結局



となり、これらの間の平衡関係は Boudouard 曲線として古くから知られている。

今(a)及び(b)の示す如く、燃烧帯は二つの部分に区分して考えられる。即ち、下の方の部分で $CO_2$ の発生する部分は $CO_2$ 量の増加するにつれて、或いは $O_2$ 量の減少に従つて燃烧帯の温度は高くなつていく。即ち羽口面より上に行くに従つて温度は高くなり $O_2$ 量が零になる面が炉内の最高温度となることになる。従つて羽口面よりこの面までの区間は酸化雰囲気となり、これより上の面ではCOを発生し始め、上部に行くに従つてCO量を増加し、 $CO_2$ を減じ温度は下り遂に $CO_2$ が零になる面に達する。この区間は還元雰囲気となり、これより上層の面は最早燃烧に関しないものと考えて、上記の二つの区間を一つにして、これを燃烧帯とする。今この燃烧帯の容積をVとする。又各面により上述の如く温度の違いがあるが、問題を簡単にするために、この区間の平均の温度を以つて燃烧帯の温度とする。

今この温度をTとする。

このV及びTを以つて燃烧帯の性質を示すものとする。

今推論を簡易にするため、燃烧帯を円筒状として水平面的に考えるが、高炉内に於ける実際の形状については、

S.P.KinneyやG.St.J.Perrot等により1923年に著名なる論文

“Combustion of coke in Blast Furnace Hearth”

に於て述べられている如く、球状又は楕円体に近い複雑な形状を持ち従つて体積とか、各面の温度とかは円筒や水平面としてではなく、その形状の体積や表面として考えられるべきであるが、これは計算を困難にし、且つ、徒らに推論を煩雑にするを以つて、以後燃烧帯の形状は円筒状のものとして推論を進めることにする。

## 3 骸炭因子と空気因子の定義

次に、前記(a)(b)の反応式は瓦斯体及び固体間の不均一系の反応であるため、骸炭の種々の物理的因子が反応の進行に当つて影響を与えることになる。従つて之等の物理的因子が炉内の燃烧の問題を複雑にして来るものであるが、未だこれらに関する有効なる理論式や数値は不充分であるが、唯、炭素原子自体の活性とか、骸炭の大きさ、気孔率、灰分等が関係してくることは明らかで、従つてこれらに関して従来屢々骸炭の燃烧性とか反応性とかとして、古くから Fr.Fischer を始め Dr.Ing.F.Hausser, R.A.ShermanやS.P.Kinney等その後多くの研究者により研究され、討論され、又定義されて来ているがこれ等をいづれも考慮に入れて問題を取り扱うことは反つて推論を誤まる恐れもあるので此処に H.A.Brassert が骸炭の燃烧性に関して “Combustibility of coke is the rate of complete gasifications in front of the tuyeres of a blast furnace under standard condition of blast temperature and of blast volume” と定義しているが如き考え方に従つて骸炭の活性、大きさ、気孔率、灰分等を一括して骸炭因子(Cf)と称することとし、こ

れは骸炭の表面の物理的条件の函数と見做して考える。

最後に燃焼に関与するものは $O_2$ 即ち空気であり、空気の性質が燃焼帯に影響するわけである。今この空気の性質として流量、温度、酸素の濃度を考え、今是等の因子を一括して空気因子( $a_f$ )と称することにすれば空気因子は空気の温度、流量、酸素の濃度の函数である。此処に空気の圧力の因子を考慮に入れなかつたことは骸炭の単位表面に突き当る酸素分子の数により燃焼の進行が影響されると考えれば、流量は空気因子に直接関係するも、風圧は二次的のものとなり直接空気因子を左右しないものとした。

#### 4 燃焼帯の温度(T)と体積(V)の相互関係に就いて

今、空気因子を一定とした場合、即ち一定風量、一定風熱で操業した場合、骸炭因子さえ変らなければ単位時間内に燃焼する骸炭量は一定の筈である。

この様な状態で燃焼帯V内に於ける熱精算を考えて見るに、単位時間に、

入熱として	V内に於けるCの燃焼により発生する熱量……	$H_1$
	空気の持ち込む熱量	…… $H_2$
	上層部のCが持ち込む熱量	…… $H_3$
出熱として	Vより出て行く瓦斯の持ち去る熱量	…… $H_4$
	Vの部分の炉壁より外部に逃げる熱量	……A

但し、算式を簡単に表現するため、装入物中のC以外のもののV内に持ち込む熱量とVから持ち去る熱量の差は小さいものとして無視し、又燃焼帯の温度Tまで熱せられてV内に込いつてくるものとする。又、この場合、V内の瓦斯の温度と固体の骸炭の温度は異なるものと考えられるが、V内の平均温度としてTを考える故、之等の温度は等しいものとする。

$$\begin{aligned} \text{従つて} \quad H_1 + H_2 + H_3 &= H_4 + A \\ A &= H_1 + H_2 + H_3 - H_4 \end{aligned} \quad \text{である。}$$

此処にAは熱損であるがこのAの機能を少し考えて見るに、このAは燃焼帯を定常状態に保つて置くに必要な熱量として考えて見ればこの熱量Aが燃焼帯のV.Tに関係することになり、之の点より筆者は推論を進展させていかんとするものである。J. E. Johnsonも彼の名著“Principles of operation and products of the Blast Furnace”に於て、この種の熱を Heat loss なる語を用いず Available Heat と記してあるのもこの辺の考えとも思える。即ち

“It is perfectly obvious that the higher the critical temperature the less available heat will be for a given blast temperature and vice versa.”とあるが、ここに Critical temperature とは燃焼帯の温度Tの如きものと考えられ、与えられた送風温度に対しては less available heat は higher Critical temperature にすると解さるべきものと考えられる。

さてこのAを算出して見れば、今仮りに1分間に温度 $t^\circ C$ の空気 $X kg$ が吹きこまれたとし、

$0^\circ C \sim 20^\circ C$ 迄の空気の平均比熱を	0.24 Kcal/kg
$0^\circ C \sim 1000^\circ C$ 迄の炭素の平均比熱を	0.35 "
$0^\circ C \sim 1500^\circ C$ 迄の $N_2$ とCOの平均比熱を	0.265 "

前記の(C)式より $1 kg$ のCがCOに燃焼する時の発熱量 $2417 Kcal/kg$ とすれば

$$H_1 = 2417 \times \frac{24}{144} X \text{ kcal/min} = 403 X \text{ cal/min}$$

$$H_2 = 0.24 X t \text{ cal/min}$$

$$H_3 = 0.35 \times \frac{24}{144} X T = 0.058 X T \text{ cal/min}$$

$$H_4 = 0.265 \times \frac{168}{144} X T \div 0.308 X T \text{ cal/min}$$

$$A = 403X + 0.24Xt + 0.058XT - 0.308XT = (403 + 0.24t - 0.25T)X \dots\dots(1)$$

(1)の示す如く  $X, t$  が変らない時は  $A$  は  $T$  のみで 変ることは当然のことで、前述の Johanson の記述と同一のことを意味するものと考ええる。 $A$  を小さくすることは  $T$  を上昇させることになり、従つてこの  $A$  を調整することにより  $T$  を control する操業法も考え得る。

さて、この炉壁を通つて逃げる  $A$  に関しては、これを正確に表わす物理的法則として 伝熱に関する法則を適用し得るも、実際上変動する因子多く、又数値も未だ充分とは云えず、問題を複雑化し正浩を期し難いので、簡単のため周囲の温度が  $T_o$  である処に触れている表面積  $S$  をもつた円筒状の wall として  $A$  は  $S$  及び  $T - T_o$  に比例するものとして考えれば、

$$A = KS(T - T_o) \dots\dots(2)$$

と表わし得る。ここに  $K$  は炉材等に関する恒数と見做す。従つて(1)と(2)とは等しいものであるから、(1)=(2)として

$$(403 + 0.24t - 0.25T)X = KS(T - T_o) \dots\dots(3)$$

$$\text{即ち } S = \frac{X(403 + 0.24t - 0.25T)}{K(T - T_o)} \dots\dots(3)_1$$

を得る。(3)の示す処より明らかな如く、 $X, t$  を constant とした場合、燃焼帯  $V$  が円筒ならばこの  $V$  は  $S$  に比例することになるから  $V$  は  $T$  の小さい時に大きく、 $T$  の大きい時に小さいことになる。即ち、燃焼帯の温度が高い時は燃焼帯の占める容積は小さく、反対に低い時は大きくなつてゐることを推論し得る。以上(3)式の示す如き関係が燃焼帯の  $V$  と  $T$  の基本的な相互関係となる。

## 5 (3)<sub>1</sub>式による燃焼帯の検討

### (i) 骸炭因子( $C_f$ )の $S$ に及ぼす影響((3)式の $X, t$ が一定の場合)

骸炭因子  $C_f$  の変動は直接  $X$  と  $T$  を変動させ、その結果として  $S$  を変動させるが、空気因子  $a_f$  を一定にして操業し得たものとすれば  $C_f$  は  $S$  の変動だけ引き起すことになる。その結果として(3)<sub>1</sub>式により  $T$  の変動が起ることになると考えられ、従つてこの場合  $C_f$  と  $T$  の関係が明らかにされなくてはならなくなる。之等の点に関しては Fr, Fischer や Henry, P, Howland, Coppers 等の研究や又 A, Vogeld, E, Piwowarsky 等の研究試験等色々報告されておるが、之等を要約してみれば、多孔質、活性の高い、低灰分、小粒の骸炭は  $S$  を小さくして  $T$  を大きくする傾向であることが認められる。今骸炭の活性を  $a$ 、気孔率を  $p$ 、粒度を  $s$ 、灰分を  $b$  としてこれらと  $T$  間に、今日未だ明確な函数関係として示されてないが、仮りに  $T$  は  $a, p$  に比例し、 $s, b$  に反比例するとみれば、 $T = k \frac{s \cdot b}{a \cdot p}$  で  $k$  は  $a, p, s, b$  の単位の取り方により定まる定数と見做し、(3)<sub>1</sub>式を書き換えてみれば、

$$S = \frac{X(403 + 0.24t - 0.25K \frac{ap}{sb})}{K(k \frac{ap}{sb} - T_o)}$$

$$\text{又は} = \frac{X(403sb + 0.42tsb - 0.25ap)}{K(kap - s, b, T_o)} \dots\dots(3)_2$$

となり、 $a, p$  の大きなことは  $S$  を小さくし、 $s, b$  の小さくなることは  $S$  を小さくすることになる。即ち気孔率、活性の増加及び粒度、灰分の低下は燃焼帯を小さくし、従つて燃焼帯の温度を上昇させることが(3)<sub>2</sub>式により示される。従つて(3)<sub>1</sub>式は之等の実験結果や経験的事実の傾向と一致することは、(3)<sub>1</sub>式の妥当性を示すものと考えられる。

又(3)<sub>1</sub>式の極限を考えて見るに  $X, t$  を一定として  $S = \infty$  なることは、 $T - T_o = 0$  即ち  $T = T_o$  の場合



となり、これは  $C_f$  が小さくなることを意味し、 $T_o = k \frac{a \cdot p}{s \cdot b}$  となり  $\frac{T_o}{k} = \frac{ap}{sb}$  で、 $T = T_o$  まで小さくなるためには  $a, p$  は小さくなり、 $s, b$  が大きくなることを意味する。斯くなれば  $T$  は  $T_o$  以上に上り得ず、燃焼帯  $S$  は  $\infty$  に拡がる結果と解釈出来る。

又  $S=O$  の時は  $X, t$  が一定なれば

$$403 + 0.24t - 0.25T = 0$$

となり、この時の  $T$  を  $T_{max}$  とすれば、

$$T_{max} = \frac{403 + 0.24t}{0.25} \dots\dots (4)$$

となり、風量、風熱を一定にして操業する場合の理論上の最高温度とも考えられ、 $T_{max}$  以上の温度に於ては最早  $C_f$  の影響はないものと推論される。即ち  $\frac{T_{max}}{k} = \frac{a \cdot p}{p \cdot b}$  を与えるまでは  $a \cdot p$  の増大、 $s \cdot b$  の減少は影響するも、これ以上の値を与える如き  $a \cdot p \cdot s \cdot b$  の値は最早、燃焼帯の  $S$  や  $T$  に影響しないものと考察される。この点、城博、井田四郎、雪申浩氏等が骸炭の反応性は高炉内の燃焼帯に余り影響しないものであるとの報告も斯る点より推論し得るものと思う。 $S=O$  は極限の場合で現実的には  $S=O$  となり得ず(4)式で示される温度に近い或る最高温度  $T_{max}$  とその  $T_{max}$  に対応する最小の燃焼帯  $S$  が有り得る。これを  $S_{min}$  とすれば

$$S_{min} = \frac{X(403 + 0.24t - 0.25T_{max})}{K(T_{max} - T_o)} \dots\dots (5)$$

となる。

以上により骸炭の粒度、即ち骸炭の潰裂強度、灰分の増大、気孔率、活性の減少は燃焼帯を大きくし、その温度を低下させるが、之の場合燃焼帯が或る一定温度に達すれば最早之等の影響はなきものと考察される。

尚又、潰裂強度の増大は通風抵抗の減少となり、その結果は(3)<sub>1</sub> 式の  $X$  の増大になり  $S$  を増大させることになるが、これは問題が別で(ii)に於て推論し得る問題である。

#### (ii) 風量の $S$ に及ぼす影響 ( $t$ 及び $C_f$ を一定にした場合)

風量  $X$  を増加すれば  $T$  は次第に増加するものである。

又(3)<sub>1</sub> 式の示す如く、 $X$  の増加は直接  $S$  を増加させる。従つて(3)<sub>1</sub> のみには  $S$  は定まらず、 $X$  に対応する  $T$  が定め得れば  $S$  は決つてくることになる。

今  $X_1 \ S_1 \ T_1$  の定常状態から  $X_1$  が  $X_2$  に増加したとすれば、暫時の間は定常状態が乱れるが、新たに  $X_2$  に対応した  $S_2 \ T_2$  に達して定常状態を保つものとすれば、この場合(3)式より

$$\begin{aligned} S_1 K(T_1 - T_o) &= X_1(403 + 0.24t - 0.25T_1) \\ S_2 K(T_2 - T_o) &= X_2(403 + 0.24t - 0.25T_2) \\ \frac{S_2(T_2 - T_o)}{S_1(T_1 - T_o)} &= \frac{X_2(403 + 0.24t - 0.25T_2)}{X_1(403 + 0.24t - 0.25T_1)} \\ S_2 &= \frac{X_2(403 + 0.24t - 0.25T_2)(T_1 - T_o)}{X_1(403 + 0.24t - 0.25T_1)(T_2 - T_o)} S_1 \dots\dots (6) \end{aligned}$$

即ち  $S_2$  は(6)式で示される大きさとなり、 $S_2$  と  $S_1$  の大小は

$$X_2(403 + 0.24t - 0.25T_2)(T_1 - T_o) \geq X_1(403 + 0.24t - 0.25T_1)(T_2 - T_o)$$

なる関係なら

$$S_2 \geq S_1 \quad \text{となる。}$$

このことよりして、風量  $X$  の増加はいつでも燃焼帯の増大を生ずるものと推論し得ない。逆に縮小することも考え得る。即ち  $X$  の増加の影響を(3)<sub>1</sub> 式より推察するに  $X$  の増加は直接  $S$  を増大すると同時に  $T$  をも増大させることにより、その結果として  $S$  を減少させることになる。従つて  $S$  の

増減はこの二つの機能が加算された結果として起つてくることになると考察される。即ちXの増加により直接Sの増加の方がXの増加によるTの増加に起因して起るSの減少より大きければ、Sは大きくなり、等しければSは変わらず、反対になればSは小さくなる筈である。

次にXの増大によりTは増加し(3)<sub>1</sub>式に於て

$$403 + .24t - 0.25T = 0$$

となる如きTに達したとすれば、この時のTをTmaxとして見て

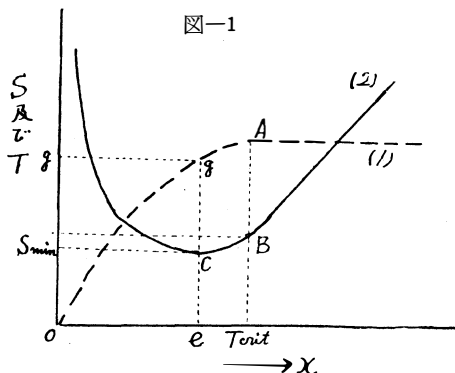
$$T_{\max} = \frac{403 + 0.24t}{0.25} \dots\dots (7)$$

となり、この時のSは零になるが、現実的には斯くことはあり得ず、極限として考え得るだけである。従つて実際的にはTmaxに近い或る温度があると考え、今この温度をTmaxと考え、このTmaxに対応するSをSminとすれば

$$S_{\min} = \frac{X(403 + 0.24t - 0.25T_{\max})}{K(T_{\max} - T_o)} \dots\dots (8)$$

となり(7)(8)は前項(i)の(4),(5)式と式の形は全く同一なるも、Tmaxを生ぜしめる原因を異にする点に於て異つてゐるもので、即ち(4),(5)の場合はCfが非常に大きいことから来るものであり、(7),(8)はXの増大によつて生ずるものでCfは小さくてもTmaxは生じることを意味するものである。又燃焼帯はSminより小さくなり得ないと云うことを示すものでなく、唯Tmaxの時のSの値をSminとしたもので、この点(6)式と意味を異にする。即ちSはXの値如何によつてはSminより小さい値を取り得ることがあると云うことである。唯Sminは次の点を考える場合に重要なことになる。即ちSminを生ずる時の風量XをXcritとし仮りにこれを臨界風量と称すればXcritの時にTmaxとなりSminとなることでXcritを越してXが増大しても(7)式より最早Tmaxは上らないことになるから、 $X > X_{\text{crit}}$ ではSはSminより次第に増加の一方をたどることになり燃焼帯はXと共に直線的に増大することが推論される。以上より風量の燃焼帯に及ぼす影響を考察するに風量Xの増加によつて、燃焼帯の温度が或る一定温度に達するまでは燃焼帯の増減は風量の増加による燃焼帯の増大と、燃焼温度の上昇による燃焼帯の減少との大小により決まるもので、Tmaxを生ずる如き風量、即ち臨界風量以上では風量の増加に比例して燃焼帯は増大すると推論し得る。

J.E.JohnsonもCritical Temperature Theoryの中でCritical Temperatureと称し高炉に於てはこの温度は2750°Fと推定してあり、又Critical Temperature Air Velocity等と称して論ぜられているのもこれらの点、Xcritの時のTmaxとして(3)<sub>1</sub>式より説明し得ることである。この点に於ても(3)<sub>1</sub>式は妥当性あるものとする。



上記XとS,Tの関係を今一度図解して見れば、図一1の如きことであろう。

(1).....XとTの関係曲線

(2).....(1)より得たTの値を(3)<sub>1</sub>式に代入してXとSの曲線を得たとすれば、

A.....Tmax

B.....Xcrit 及び Smin

C.....最小の燃焼帯で、その時のXはoe、Sはof、Tはog

eより左の風量まではXの増加でSは減じ、eより右で増加するが、Bより右は、風量はSを直線的に増加させる。又e点附近のXの増減はSの増減に大きな影響を与えないと解釈出来る。Fig 1は全く図解のための曲線であつて、その正否は別問題だが、今後実験的に(1),(2)の曲線を得れば(3)<sub>1</sub>式の正当なるか否かも確かめ得るものと考えられる。

(iii) 送風温度のSに及ぼす影響 (X, Cfが一定の場合)

この場合も(ii)項の時と同様(3)<sub>1</sub>式を直ちに適用出来ず、即ちtの変動でTの変ることのため、(3)<sub>1</sub>式の分子を見れば、tの増加はSを直接増大するが、分母のTの増大及び分子のTによりSを小さくする結果になるが、tの増加によるSの増加よりtの増加によりTを増加し、之れに起因してSを減少させることが大きいことは次の如く推論し得る。即ち今(3)式の両辺をtで微分してみれば、

$$SK(T - T_0) = X(403 + 0.24t - 0.25T)$$

$$\frac{ds}{dt}K(T - T_0) + SK\frac{dT}{dt} = 0.24X - 0.25X\frac{dT}{dt}$$

$$\frac{ds}{dt}K(T - T_0) = -\frac{dT}{dt}(SK + 0.25X) + 0.24X$$

$$\frac{ds}{dt} = -\frac{\frac{dT}{dt}\left(\frac{SK}{X} + 0.25\right) - 0.24}{\frac{K}{X}(T - T_0)} \dots\dots(9)$$

§4に於て示せる如くTの増加はSを減ずる関係あるを以つて $\frac{ds}{dt}$ と $\frac{dT}{dt}$ は符号反対の筈である。従つて(9)式の分子は常に負であることより、tの増加と共にTは増し、Sは減じて行くことになる。又(9)式の $\frac{ds}{dt}$ は燃焼帯のtによる収縮率を示すもので、Tが大きい程 $\frac{ds}{dt}$ の値は小さい。即ち送風温度が高くなれば、燃焼帯は小さくなつて行くことが推論され、且つ又、送風温度の低い時の温度の変動は送風温度の高い時の変動より燃焼帯に与える影響は大きいことも推論し得る。

今 $\frac{ds}{dt} = 0$ ならば送風温度tを上げても最早それ以上Sは縮小しないことになる。即ち今 $\frac{ds}{dt} = 0$ とすれば(9)式より

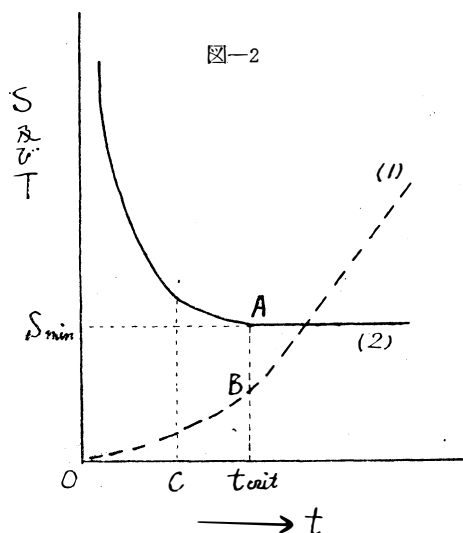
$$\frac{dT}{dt} = -\frac{0.24}{\frac{SK}{X} + 0.25} \dots\dots(10)$$

となり、(10)式を満足する送風温度の時に燃焼帯は最小となり燃焼帯は一定容積となる。従つてこの時の温度を今、臨界送風温度と称することにし、これを $t_{crit}$ とすれば $t_{crit}$ 以上の送風温度では最早それ以上燃焼帯は小さくならず、(10)式で $\frac{dT}{dt}$ が一定となるから、送風温度tの上昇は燃焼帯の大きさに関係なく燃焼帯の温度をtに比例して上昇させるだけになると推論される。

以上のことより臨界送風温度以下では送風温度の上昇は燃焼帯を小さくし、燃焼帯の温度を上げることになるが、臨界送風温度以上では最早燃焼帯の大きさは変わらず、送風温度の上昇は燃焼帯の温度の上昇のみに影響し、之れを比例的に上昇させるものと考察される。

又送風温度の低い時のtの変動は燃焼帯の大きさに大きく影響し、これに反して、高い時の変動は燃焼帯の大きさには余り影響せず、燃焼帯の温度に影響を与えることが大きいものと考察される。

以上のことを今一度図解して見れば図-2の如きことである。



- (1).....  $t$  と  $T$  の関係曲線 } とすれば  
 (2).....  $S$  と  $t$  の関係曲線 }

A 点の温度が  $t_{crit}$  でその時の燃焼帯の温度は B で、容積は  $S_{min}$  である。

又 C 点より低い送風温度では、 $t$  の変動が  $S$  の変化に与える効果は大きく、 $t_{crit}$  に近づくに従って送風温度の変化は  $S$  の変化に与える効果は小さくなる。

## 6 結 語

以上竪型炉内に於ける燃焼帯の大きさ、及び温度に関して

$$(403 + 0.24t - 0.25T) X = KS (T - T_0)$$

なる関係式の導入により 之等に及ぼす骸炭、風量、風熱の影響を推論して 次の如き結論を得る。

- (i) 燃焼帯の温度が高い時は、燃焼帯の大きさは小さく、反対に低くなる時は燃焼帯は大きくなるものである。
- (ii) 骸炭の燃焼性が大きいものは燃焼帯の温度を高くし、従つて燃焼帯の大きさは小さくなる。即ち、骸炭の活性、気孔率の増大、及び粒度、換言すれば潰裂強度の減少灰分の低下は骸炭の燃焼性を大きくするものとして之等は燃焼帯の温度を高くし、従つて燃焼帯の大きさを小さくするものである。反対の場合は反対の結果となるものである。
- (iii) 風量の増加は或る範囲では燃焼帯を小さくすることにもなり、又反対に大きくしたりする場合も起き得るが、風量が或る一定風量を越えれば最早風量の増加は燃焼帯の大きさを増すのみでその温度は上昇させないものである。
- (iv) 送風温度の上昇は燃焼帯の温度を上昇させ燃焼帯の大きさを小さくするもので、反対の場合は反対になる。この場合も送風温度がある一定の温度を越せば最早燃焼帯はそれ以上縮小せず、送風温度の上昇は燃焼帯の温度の上昇のみに関係するものである。又送風温度の低い時の送風温度の変化は高い時のそれより燃焼帯の大きさに与える影響は敏感である。
- (v) 実際操業の場合に於ては上記因子が同時に変動して居るものにしてそれらの総合結果として燃焼帯は絶えず変動しているものであるがこれを定常状態に長時間維持することは、所謂、順調なる炉況となるが、困難なことである。然し、幸い自然に正負打ち消し合つて操業されている場合も多いと思う。従つて何れかに偏した場合は炉況の変調を生ずることになる。

終りに著者は本論文では数値計算を行つていないが、これは今後実験により求めたいと思つてゐる。尚、本研究に当り種々御指導御鞭撻を賜つた森棟教授に深く感謝の意を表するものである。

昭和三十四年十月 富山大学森棟研究室に於て

## 参 考 文 献

Industrial chemical calculation By Hargens Watson (1936)

Blast Furnace and Steel plant June 1925 S.P. Kinney G. St. J. Perrot

Brennstoff Chemie By. Fr. Fischer 1923

Stahl und Eisen 1923

Iron Age 1923

Blast Furnace Practice By Ralph H. Sweetser 1938 P. 218

The principles Operation and Products of the Blast Furnace By J. E. Johnson 1918 P. 35

燃料便覧 燃料協会編

Stahl und Eisen 1921 Vol II 1173

Giesserei 16 (1927) S 147

鉄と鋼 27—12月号 P985—1001 城博 井田四郎 シークスの反応性について

頁 ・ 行 目	誤	正	頁 ・ 行 目	誤	正
11頁 表中 3行目	直列エンデンサ損	直列コンデンサ損	115頁 図-1	$(Zn^{++}(cd^{++})-Cd^{++})$	$(Zn^{++}+Cd^{++})-Cd^{++}$
11頁 表中 B列	垂 数	乗 数	118頁		
11頁 下より7行目	界磁々東による鉄損	界磁々東による鉄損	Abs.ract : 4行目	studeuts	students
23頁 最後の行	$V=\frac{C}{q}$	$V=\frac{b}{C}$	" 4行目	Coubustion	Combustion
29頁 7行目	$V=\frac{C}{q}$	$V=\frac{q}{C}$	" 12行目	Combusitility	Combustibility
33頁 5行目	thio	thio-	123頁 図-1	Tcrit	Xcrit
52頁 9行目	液相成	液組成		Smin	上の点線の位置
52頁 下より3行目	$dC_{ClO} / dt$	$-dC_{ClO} - dt$		Sminの跡に	fを書く
53頁下より17行目	$\int_{t_2}^{t_1}$	$\int_{t_1}^{t_2}$	128頁 上2行目	体積力が物	体積力が無
53頁下より16行目	Volume	volume	128頁 下2行目	$p_1 > 0$	$p > 0$
54頁 最下行	907	607	130頁 下10行目	$[h\chi_1+h\chi_2+h\chi_3]_{\alpha=\beta=0}$	$[h\chi_1+h\chi_2+h\chi_3]_{\alpha=\beta=0}=0$
57頁 1行目	2.3 試薬およびカルシウ錯化合物	2.3 試薬およびカルシウム錯化合物	132頁 上12行目	$\left\{2n(n-\frac{\coth n\beta_1}{\beta_1})-Ko\right\}$	$\left\{2n(n-\frac{\coth n\beta_1}{\beta_1})-Ko\right\}$
58頁 2行目	カルシウ 1 $\mu$ g/ml	カルシウム 1 $\mu$ g/ml	135頁 19行目	$\sigma \times$	$\sigma_x$
105頁 表-6 (10行目)	0.2012	0.0012		$\int \frac{dn}{\sqrt{1-\frac{2}{k} rkn}}$	$\int \frac{dn}{\sqrt{1-\frac{2}{h} r_k n}}$
105頁 表-7 (4行目)	94.50	94.60	139頁 17行目	$\frac{-h}{r_k} \sqrt{1-\frac{2}{h} rkn}$	$\frac{-h}{r_k} \sqrt{1-\frac{2}{h} r_k n}$
111頁 表-1	Cu,	Cu,	139頁 17行目	$LH\gamma_K^* \tan \frac{\alpha}{2} \left( \frac{n_s^*}{n_{s-1}} - \frac{n_s^*}{n_s} \right)$	$LH\gamma_K^* \tan \frac{\alpha}{2} \left( \frac{n_s^*}{n_{s-1}} + \frac{n_s^*}{n_s} \right)$
114頁上より3行目	0.01%デッゾン	0.01%ジチゾン	141頁 6行目	$\frac{p}{p}$	$\frac{p}{p}$
114頁上より4行目	くりかえす,	くりかえす。	159頁下から11行目	総合有効径基準寸法	総合有効径の基準寸法
			161頁 10行目	ナット内には生じた	ナット内に生じた